

# Eーディフェンスによる地震動の再現可能性と 数値震動台による建物の応答推定

田端 憲太郎

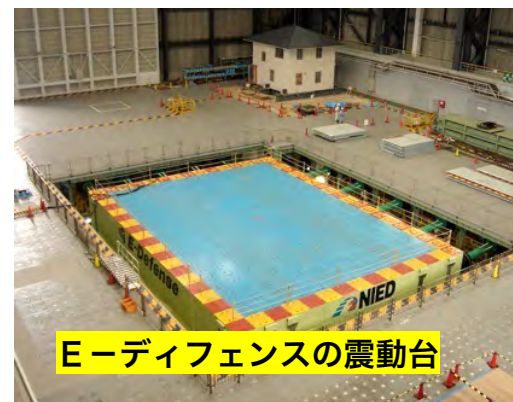
地震減災実験研究部門 副部門長／兵庫耐震工学研究センター 副センター長

2024年3月5日

# 実大三次元震動破壊実験施設「Eーディフェンス」

- **1995年阪神・淡路大震災（兵庫県南部地震）**の教訓を受けて、**構造物の破壊過程を解明**するため、実大規模構造物を破壊する実験が可能な施設として2005年に運用を開始
- 重さ1,200トンの**実物大規模の構造物**を、**三次元の地震動**で、**破壊**するまで揺ることができる**世界最大**の震動台実験施設
- 1995年兵庫県南部地震、2011年東北地方太平洋沖地震で記録した地震動を300m<sup>2</sup>の震動台に**正確に再現**
- 127件の実験を**計画どおり無事故で運用**を継続（R6.2.15現在）

Eーディフェンスが所在する  
兵庫耐震工学研究センター  
(兵庫県三木市)



Eーディフェンスの震動台

愛称「Eーディフェンス」のEはEarthを表し、地球規模で災害を未然に防ぎ、住民の生命と財産を守る研究開発への期待を示している。



ロゴマークは大地の割れと地震の姿、及びこれに対応する三次元震動破壊実験施設の三次元の動きを三色で表現している。

- **Eーディフェンスによる実環境下での挙動**（被害、対策技術の応答など）を**まるごと・きちんと再現**する実験データを活用する研究開発（自体研究、共同研究）及び施設貸与を推進

## Eーディフェンスを活用した研究開発

共用施設としての  
貢献

未然の・将来の  
リスク評価を指向

**Eーディフェンス**  
実験により挙動を再現  
信頼性の高い被害事例

検証・確認  
フィジカルからデジタルへ

現象分析  
デジタルからフィジカルへ

### 実験データアーカイブ (ASEBI)

実験データを  
オンラインで公開  
高品質のデータ (V&V、機械学習・・・)

### 数値震動台 (E-Simulator)

数値シミュレーションにより  
挙動を再現  
詳細な解析結果

### DXへの貢献

オープンデータ化  
を指向

オープンソース化  
を指向

# E-ディフェンス実験映像の提供

地震後（2024年2月29日現在）、実験映像を66件の申請に対して延べ111実験分を提供した。うち報道機関からの32件の申請があり、述べ58実験分の映像を提供した。

木造住宅（在来軸組構法、伝統構法）、鉄筋コンクリート造建物実験、鉄骨造建物実験、地盤・杭基礎実験、室内実験（医療施設、オフィス、住居）など

実験映像・データをオンラインで公開している。

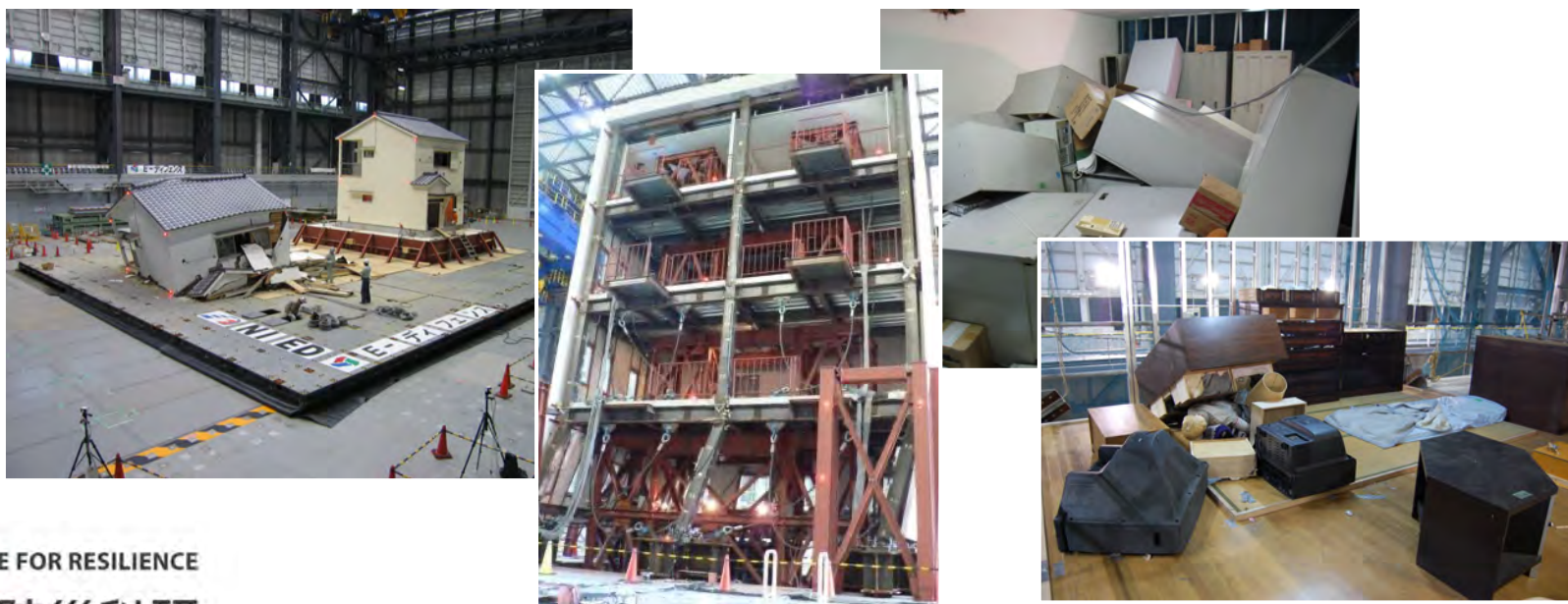
実験映像については、E-ディフェンスのウェブサイト、防災科研のYouTubeチャンネルを通じて公開している。

E-ディフェンスの加振実験映像 <https://www.bosai.go.jp/hyogo/research/movie/movie.html>

防災科研YouTubeチャンネル <https://www.youtube.com/@C2010NIED>

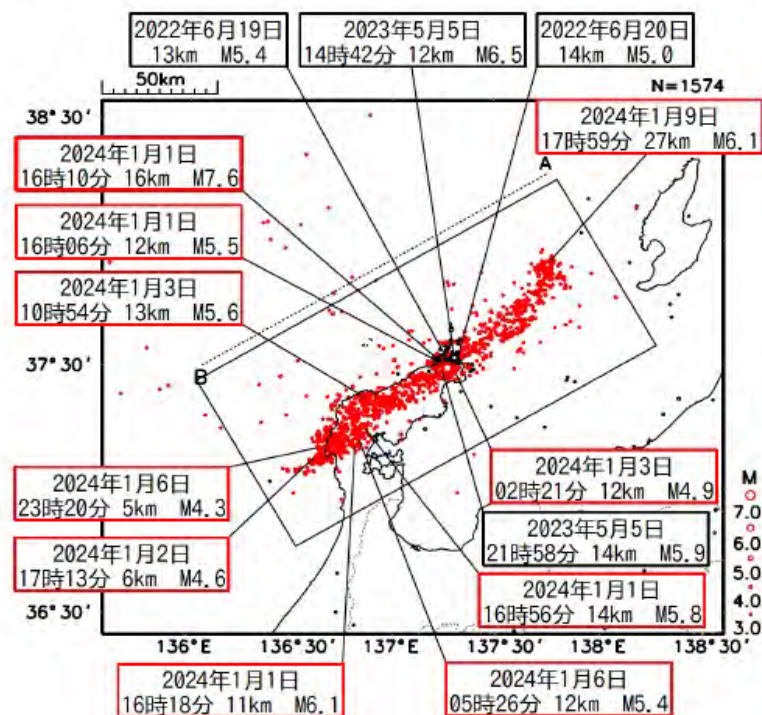
実験データ・映像については、E-ディフェンスのウェブサイトを通じて公開している。

E-ディフェンスの実験データアーカイブ <https://asebi.bosai.go.jp/>

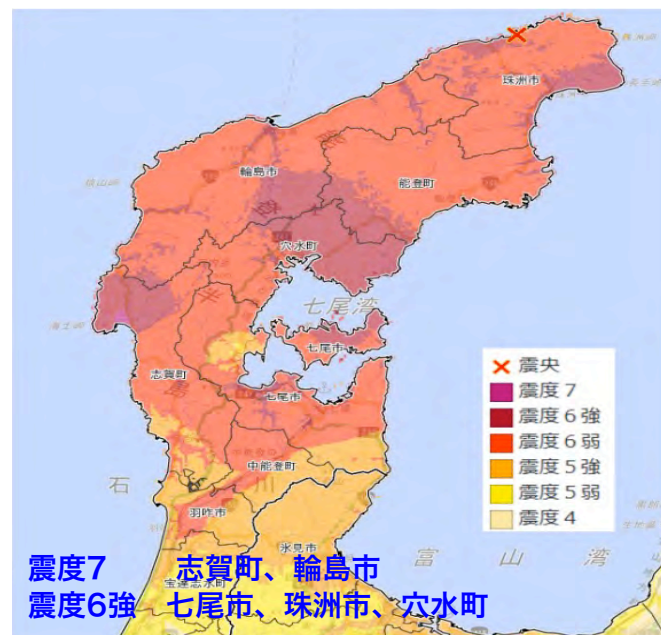


# 被害調査結果の収集・分析(1)

被害調査結果や報道等の情報を収集し、各地域の被害の様相や地震動と被害との関連に焦点を当てた分析に取り組んでいる。



2020年12月1日から2024年1月15日  
発生地震の震央分布 (気象庁)



推計震度分布図 (気象庁)

## 震度7を伴う度々の強い揺れ

地震の大きさの比較 (東北大・遠田晋次教授)

1995年	兵庫県南部地震 (Mw6.9)	1
2016年	熊本地震 (Mw7.0)	2
1891年	濃尾地震 (Mw7.4)	6
2024年	<b>能登半島地震 (Mw7.5)</b>	<b>9</b>
2023年	トルコ・シリア地震 (Mw7.8)	21

## 地勢的には・・・

- 半島部での被害、地殻変動
  - アクセス障害 (交通、インフラの途絶)
  - 困難な復旧

## 被害調査結果の収集・分析(2)

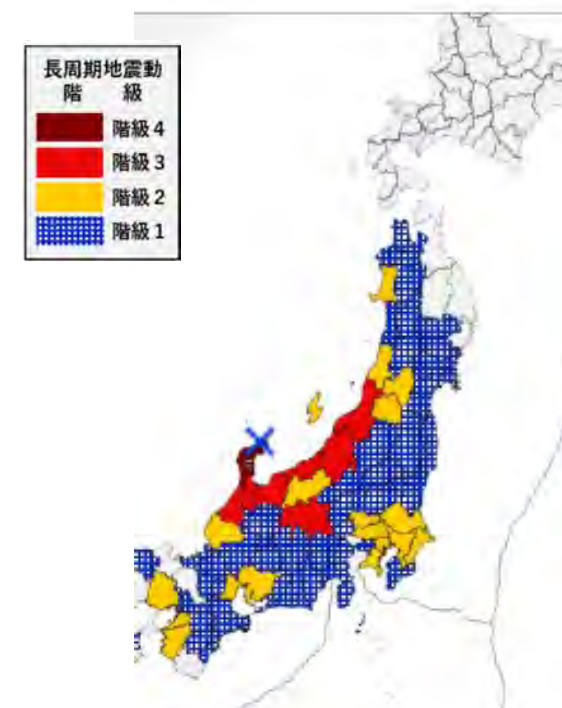


### 地震動（強い揺れ）的には・・・

- 古い（弱い）建物の被害→耐震化の促進が必要
- 広範囲にわたる階級4相当の長周期地震動  
→高層建物に被害を生じる可能性

規模の大きな地震が起きたときに発生する周期の長いゆっくりとした大きな揺れ

地上が揺れていなくても高層階では大きく揺れる  
遠くで起きた地震でも大きく長く揺れる



固有周期1.5秒程度から8秒程度までの一般的な高層ビルを対象として、長周期地震動階級が推計された際に発生する可能性がある被害（気象庁より）

## 被害調査結果の収集・分析(3)

地震動（繰り返す揺れ）的には・・・

- 次々と生じるハザード、刻々と変化する建物・地盤被害  
→刻々と変化する次なるハザードに対するリスク

地盤の変状による被害≠揺れとの時間的ずれ  
(タイミング、継続時間)

繰り返す地震の揺れによる**損傷の蓄積**

次なる地震、津波、火災など**連鎖的・複合的**に生じる  
ハザードと被害



**エリア・構造物群を対象として、繰り返し発生するハザードに対応する、マルチスケール・マルチイベントのリスク評価技術の開発が喫緊の課題**

**科学的な根拠（説得力）を持った結果を導出する技術の開発**

- 非線形の事象（変形が残る、倒壊する）を表現する数値シミュレーション技術
- シミュレーション結果や対策技術を検証し得る良質の実証データ

## 被害調査結果の収集・分析を踏まえた現地調査

収集した情報に基づき、震度5弱・5強が観測された地域の被害状況調査を2月11日～14日に実施した。

震度5強の地域での建物被害は、**既存不適格建物（基礎・柱梁の金物固定がなされていない）の被害**が多くみられ、木造住宅の**隣地間隔が極小のため隣の建物に衝突**している被害も見られた。

支持地盤の沈下により**新耐震基準建物でも傾斜**が多く見られた（内灘町・高岡市）。

**地盤の被害が顕著**で、多くの箇所で沈下・側方流動・噴砂が確認された。ヒアリングより、室内被害はなかったが、間仕切り壁などの非構造部材に**損傷があった（軟弱地盤により建物の応答加速度が軽減されたが、地盤の変状による変位が建物に入力した影響か）**。

市役所・小学校へのヒアリングをとおして、被災後に欲しい情報は①建物が問題ないのか、②避難所として開設してよいか、であった（**瞬時に建物の損傷判定を行う技術**の必要性や、自治体との**災害時の連携方法**のあり方が課題か）。

ヒアリングより聞き取った困難なこととしては、電気は比較的早く復旧したが、上下水道は復旧に時間がかかり、特に下水道の復旧は優先順位が低いため上水道が復旧しても流せず、学校では再開に影響した。



# E-ディフェンスによる地震動の再現可能性の検討

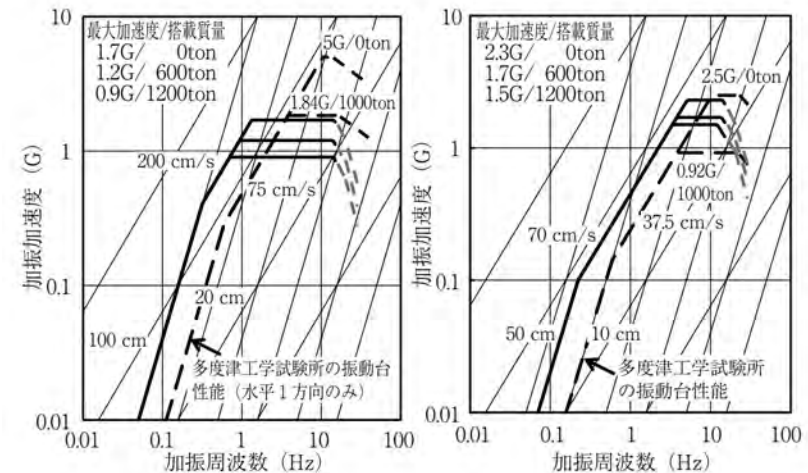
## 観測波のE-ディフェンスによる再現可能性の検討に取り組んでいる。

記録のE-ディフェンスによる再現可能性について、シミュレーションによる検討を行った。

K-NET富来の水平最大半径加速度（2.78G）は、E-ディフェンスの水平最大加速度（1.7G無負荷時）を超え、再現が困難である。

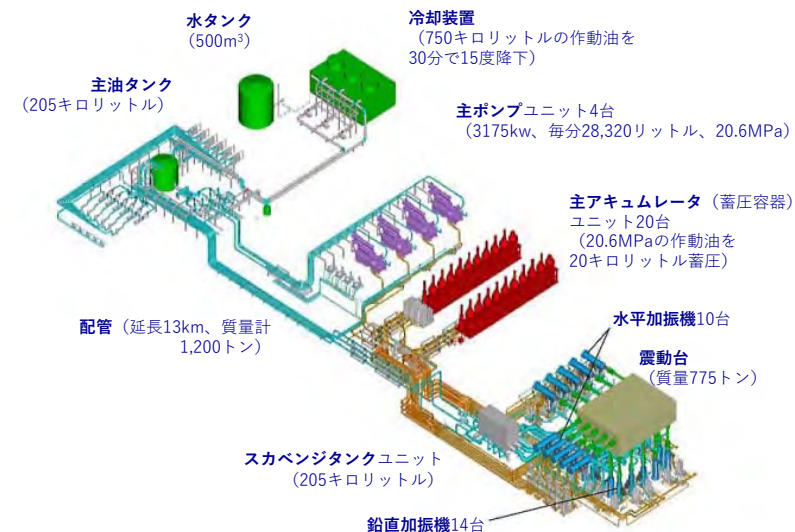
K-NET輪島・正院・穴水・大谷、KiK-net珠洲は、E-ディフェンスのアクムレーター必要吐出油量（24キロ・リットル）を超え、再現が困難である。

震動台による実際の検証を今後実施する予定である。



阿部健一「E-ディフェンスの地震防災・減災へ果たす役割」：精密工学会誌、78巻1号、2012年、<https://doi.org/10.2493/jjspe.78.5>

波形	最大加速度 (NS) [G]	最大加速度 (EW) [G]	水平最大加速度 (半径) [G]	アクムレーター必要吐出油量[kL]
K-NET輪島 (ISK003)	1.53	1.14	1.66	27.7
K-NET富来 (ISK006)	1.51	2.73	2.78	11.0
K-NET正院 (ISK002)	0.70	0.72	0.86	51.2
K-NET穴水 (ISK005)	1.04	1.17	1.25	28.7
K-NET大谷 (ISK001)	0.92	1.46	1.50	31.6
KiK-net珠洲 (ISKH01)	0.61	0.76	0.78	29.8
JR鷹取波	0.62	0.67	0.79	14.1
JMA神戸波	0.83	0.63	0.87	8.7
E-ディフェンス	1.7	1.7	1.7	24





# 数値震動台による鉄筋コンクリート造建物の応答推定

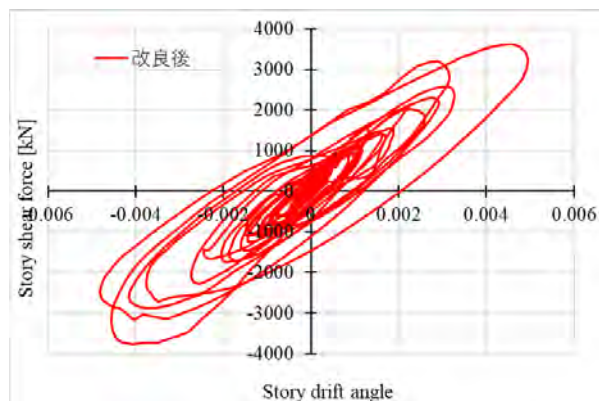
観測波を基に建物の応答を推定（再現）・分析するため、10階建て鉄筋コンクリート造建物の数値震動台（詳細FEM解析）による数値シミュレーションに取り組んでいる。

同様の地震が都市部に被害を及ぼすことを想定し、複数回の地震による建物応答の変化を、E-ディフェンス実験を基に開発している詳細FEM解析「数値震動台」により推定するため、シミュレーションを実行した。

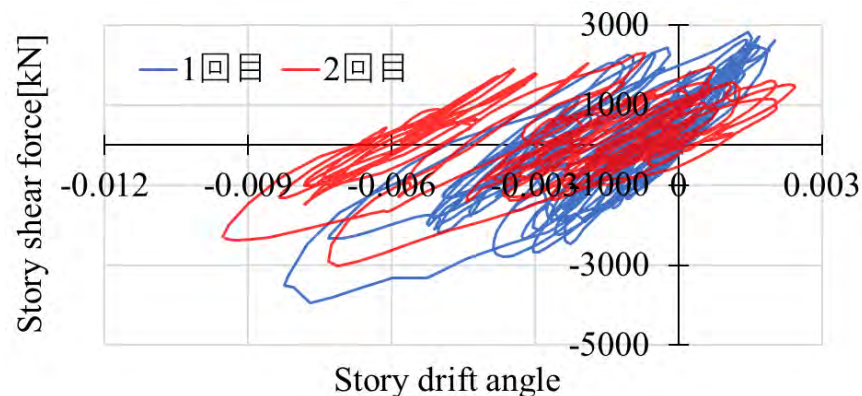
能登半島地震を対象としたシミュレーションでは、損傷蓄積により剛性が逐次低下、2回目の入力では残留する変形が大きくなっていく。



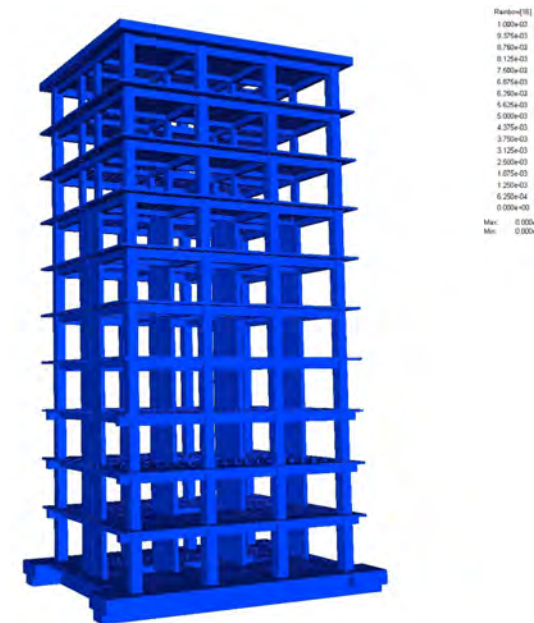
E-ディフェンス実験（2015年12月実施）  
(JMA神戸波)



兵庫県南部地震における観測波  
(JMA神戸波)



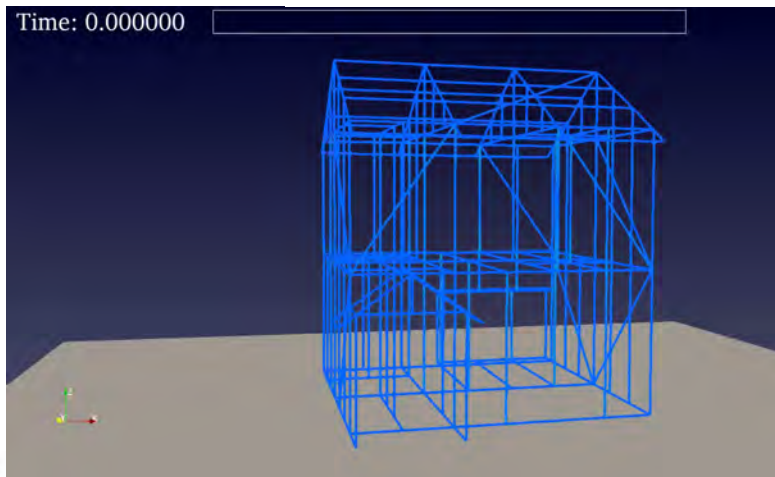
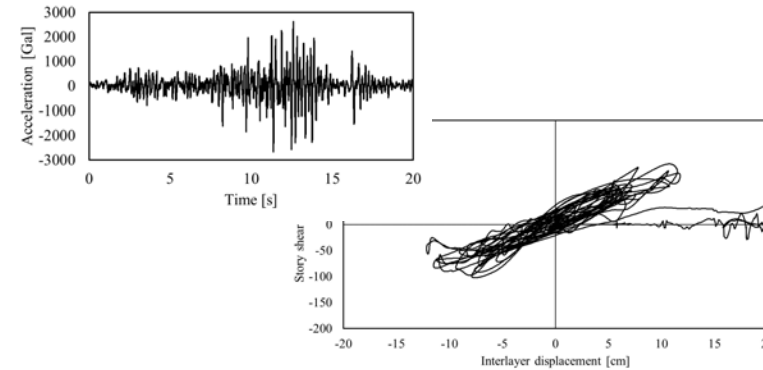
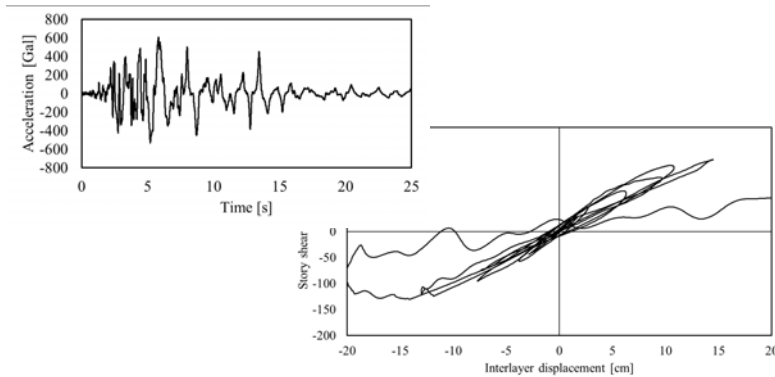
能登半島地震における観測波  
(K-NET富来波)



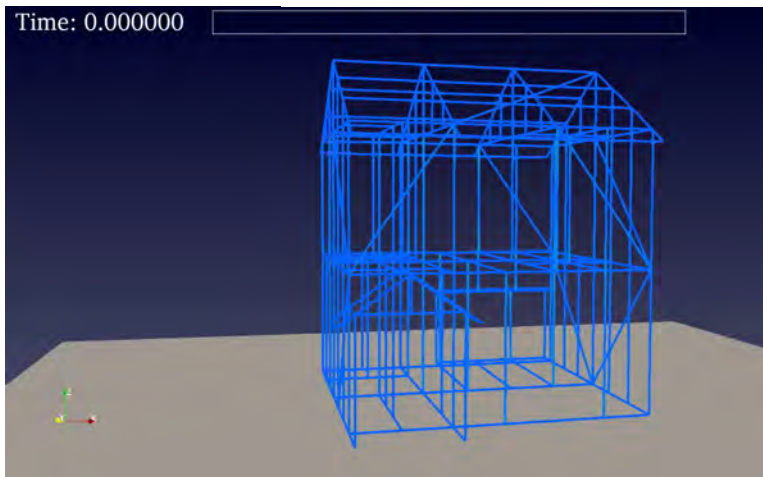
# 数値震動台による木造建物の応答推定

数値震動台（詳細FEM解析）の木造建物への適用を目指して、プロトタイプ技術の開発に取り組んでいる。

能登半島地震を対象としたシミュレーションでは、骨組み構造の軟化による損傷蓄積により剛性・固有周期が低下していくものの、建物平面に力が広く配分、大きな加速度を生じたときに倒壊した。



兵庫県南部地震における観測波  
(JR鷹取波)



能登半島地震における観測波  
(K-NET富来波)



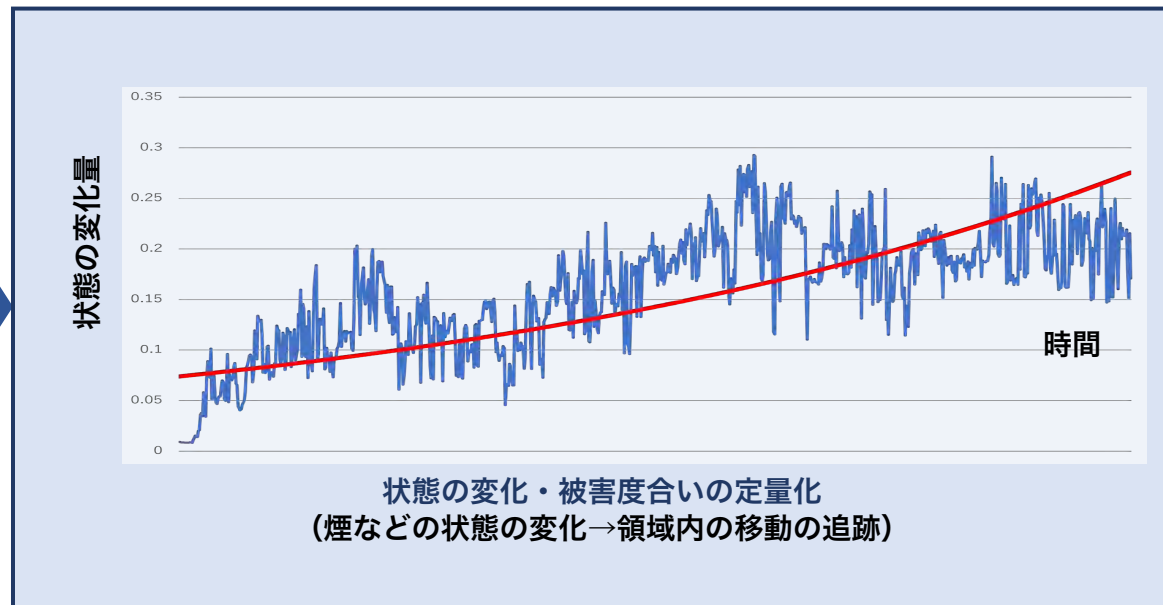
E-ディフェンス実験（2005年11月実施）  
(JR鷹取波)

## 映像による建物・街区の被害状況推定

地震発生時からその後の状況の変化を捉えた映像を基に、建物の揺れや損傷によって生じる煙などの状態変化から建物や街区の被害度合いを自動的に解析する技術の開発に取り組んでいる。

地震により生じた被害が拡大していく・収束していく状況の変化を映像により捉えて被害度合いを明示することにより、応急対策対応の迅速化・効率化などダメージコントロールや復旧の早期化に資する情報の提供を目指す。

例えば、映像での煙の検出で家屋倒壊や火災を分類、構造物の揺れ幅等から被害の度合いを評価、など。



NHKニュース映像使用(2024年1月1日)

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240101/k10014305171000.html>

生きる、を支える科学技術

SCIENCE FOR RESILIENCE



防災科研